



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

ODMRAZOVACÍ SOUSTAVY LETADEL

AIRCRAFT DE-ICING SYSTEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Aleš Smékal

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Karel Třetina, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Aleš Smékal

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Odmrazovací soustavy letadel

v anglickém jazyce:

Aircraft de-icing systems

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Odmrazovací soustavy letadel musí zajistit odstranění nebezpečí námrazy pro letouny, které letí v prostředí s podmínkami vzniku námrazy na plochách letounu a vstupních prostorech motorů. Odmrazovací soustavy letadel musí informovat letovou posádku o vznikající námraze a v případě jejího nárůstu ji musí odstranit a zajistit tak bezpečný let. Odmrazovací soustavy letadel musí splňovat konstrukční, výkonové i provozní podmínky dané předpisy a zajistit tak bezpečnost a spolehlivost letu letadla v nepříznivých atmosférických podmínkách.

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je uvést požadavky kladené leteckými předpisy na odmrazovací soustavy letadel. Uvést námrazou nejvíce ohrožené plochy a místa na letadle, popsat prostředky pro zjišťování námrazy v průběhu letu. Pozornost bude věnována prostředkům a způsobům odstraňování námrazy jak v průběhu letu, tak i při stání na zemi. Bude posouzena jejich efektivnost, energetická náročnost i možnosti prevence vzniku námrazy.

Seznam odborné literatury:


- [1] Jane's: All the World's Aircraft 2009- 10
 - [2] JAA: Aircraft general knowledge – Airframes and systems, Jeppesen, Oxford 2001
 - [3] Třetina, K.: Letadlové instalace II, skripta VA, Brno, 1986
 - [4] Předpisy CS-23, CS-25,
 - [5] Technické příručky letadel
- Další literatura dle doporučení vedoucího bakalářské práce


Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Karel Třetina, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 15.11.2013




doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je seznámení se s problematikou námrazy na letadlech. Obsahuje rozdělení jednotlivých systémů na odmrazovací a protinámrazové, dále je uvedena energetická náročnost a efektivnost jednotlivých soustav. Shrnuje situace, které jsou z hlediska vzniku námrazy pro letouny velice nebezpečné. Předkládá možnosti, jak námraze předejít, v případě jejího vzniku námrazu detekovat a informovat o ní pilota. V neposlední řadě shrnuje informace, jak námrazu odstranit.

KLÍČOVÁ SLOVA

Námraza, protinámrazový, letadlové systémy, led, odmrazování

ABSTRACT

The bachelor's thesis is familiarization of me with icing on aircrafts. It includes the distribution systems for anti-icing and de-icing, energy intensity and efficiency are also included. It contains icing situations, which are very dangerous for aircrafts. Thesis shows possibilities, how to prevent ice formation, detect icing and keep pilot informed. And finally remove ice.

KEYWORDS

Icing, anti-icing, aircraft systems, ice, de-icing

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Smékal, A. *Odmrazovací soustavy letadel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 39 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Karel Třetina, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Karla Třetiny, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 13. května 2014

.....

Aleš Smékal

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu doc. Ing. Karlu Třetinovi, CSc. za cenné rady a připomínky při tvorbě bakalářské práce.

OBSAH

Úvod	10
1 Námraza.....	11
1.1 Vznik.....	11
1.2 Vliv	11
1.3 Druhy	12
1.4 Vodnost oblaku	12
1.5 Koeficient usazování.....	13
1.6 Intenzita námrazy.....	13
2 Detekce námrazy	15
2.1 Hot-rod detektor.....	15
2.2 Tlakový detektor	16
2.3 Rotační detektor	17
2.4 Frekvenční detektor	18
3 Odstraňování námrazy na zemi	20
3.1 Prevence vzniku námrazy	20
3.2 Odmrazovací kapaliny	20
3.2.1 Kapalina typ I	20
3.2.2 Kapalina typ II.....	21
3.2.3 Kapalina typ III.....	21
3.2.4 Kapalina typ IV	21
3.2.5 Ekologie kapalin.....	22
3.3 Horká voda.....	23
3.4 Vysokotlaký vzduch	23
3.5 Infračervené záření.....	23
4 Odstraňování námrazy za letu	25
4.1 Požadavky kladené předpisy CS-23 a CS-25.....	25
4.2 Protinámrazové vybavení	26
4.2.1 Elektrická ochrana	27
4.2.2 Teplovzdušná ochrana	28
4.2.3 Technologie SLIPS (Slippery Liquid-Infused Porous Surface)	29
4.3 Odmrazovací vybavení	30
4.3.1 Chemická ochrana	30
4.3.2 Pneumatická ochrana.....	31
4.3.3 Elektro – impulzivní ochrana	31
4.3.4 Sonic Pulse Electro-Expulsive Deicer (SPEED).....	32

4.3.5 Electro-Expulsive Separation Systém (EESS)	33
5 Příklad z praxe	34
Závěr	35
Seznam použitých zkratk a symbolů	38
Seznam obrázků.....	39

ÚVOD

Snem mnoha průkopníků, ale nejen jich, bylo vzlétnout a vidět svět z pohledu ptactva. Dne 17. 12. 1903 se jako první vznesli bratři Wrightové, tímto činem se zapsali do historie a odstartovali novou éru lidského snažení.

Od této doby uplynulo už mnoho let strávených výzkumy a pokusy, letecká přeprava se stala nedílnou součástí našich životů a tato skutečnost se stále více prohlubuje. To, že je po letecké přepravě stále větší poptávka, jasně dokazují čísla. V roce 2016 se očekává přeprava 3,6 miliardy cestujících a 34,5 milionů tun nákladu. [1] S takto velkými čísly vyvstává na mysli množství otázek. Například bezpečnost pasažérů, posádek, dalšího personálu zajišťujícího komplexní chod letecké dopravy. Letecká doprava je také klasifikována jako jedna z nejbezpečnějších přeprav a doprav, avšak případný pád letadla má v drtivé většině případů fatální důsledky. Jen těchto pár myšlenek a informací nás přivádí k závěru, jak důležité je se v tomto oboru zabývat otázkou bezpečnosti. Tato problematika je velmi široká, a pokud se zaměříme pouze na dopravní prostředek – letadlo, jako výsledný produkt celého leteckého dopravního systému, pak zjišťujeme, že tato je ovlivněna mnoha faktory; člověkem a jeho chybami počínaje, technikou a nevyzpytatelnými rozmary přírody konče.

Jak je patrné, na posádky a samotnou techniku jsou kladeny velmi vysoké nároky. A právě pro zajištění maximální bezpečnosti je například v letadlech nainstalováno mnoho bezpečnostních systémů, které varují pilota před nebezpečím. Jedním z nich jsou i systémy indikující námrazu na letounu. Statistiky jasně ukazují, jak velmi nebezpečná může být a je tato skrytá hrozba. Toto nebezpečí hrozí nejen na zemi, ale i ve vzduchu. Nezáleží ani na ročním období a dokonce ani na letových hladinách, ve kterých se letadla pohybují. Je známo, že teplota v těchto výškách klesá hluboko pod bod mrazu. Vzniku námrazy za letu se proto snažíme předejít použitím již zmíněných ochranných systémů. V případě pohybu letounu po zemi jsou vhodné ochranné kapaliny.

S použitím ochranných kapalin na zemi před vzletem letadel se ale rodí nová otázka, otázka ochrany životní prostředí. Tyto kapaliny obsahují etylenglykol, který je jedovatý, a tudíž je nutno klást velký důraz na likvidaci těchto látek.

Otázka bezpečnosti leteckého provozu, především skrytá hrozba tvorby námrazy a ochrany proti ní, mě tak zaujala, že jsem se rozhodl ve své bakalářské práci věnovat právě tomuto problému.

1 NÁMRAZA

Jedná se o usazování přechlazených oblačných částic a vodních kapek na jednotlivých částech letounu, které jsou během letu těmito částicemi obtékány - v oblacích (mlze), dešti nebo v mokřím sněhu. Nejnebezpečnější rozmezí teplot pro tvorbu námrazy je teplota $+3^{\circ}\text{C}$ až -12°C . [2]

Faktory ovlivňující námrazu:

- teplota vzduchu
- vlhkost vzduchu
- existence přechlazených vodních kapek v atmosféře
- velikost částic
- struktura oblaku

Faktory aerodynamické:

- teplota povrchu letadla
- rychlost pohybu
- velikost zakřivení předních částí letounu [3]



Obr. 1 Námraza [4]

1.1 VZNIK

Námraza závisí na obsahu vody (vlhkosti) v okolním prostředí. Největší obsah vody bývá v oblačnosti. Námraza vzniká zmrznutím drobných kapek mrznoucí mlhy nebo vlhkosti v oblacích při jejich styku s povrchem letadla. Může se tvořit i sublimací, tzn. srážením vzdušné vlhkosti na prochlazených površích (křídla) a to i bez přítomnosti deště, mlhy nebo oblačnosti. [5]

1.2 VLIV

Vliv námrazy je zpravidla negativní. Způsobuje nárůst hmotnosti letounu, zhoršení aerodynamických vlastností a s tím související změnu úhlu náběhu, zablokování řízení nebo zamrznutí pitot-statického systému. Může být příčinou nasátí ledu do motoru či zabránění nebo snížení výhledu z kabiny a snížení účinnosti vrtule.

1.3 DRUHY

Druhy námrazy tvořící se na náběžných hranách křídel.



Klínovitá námraza - tvorba v oblačnosti s malou vodnatostí. Námraza má malý vliv na odpor a přetažení.[6]



Žlábkovitá námraza - voda mrzne na krátké vzdálenosti. Námraza má velký vliv na odpor i přetažení, je velmi nebezpečná. Žlábek vzniká tzv. kinetickým ohřevem, který ohřívá náběžnou hranu. [6]

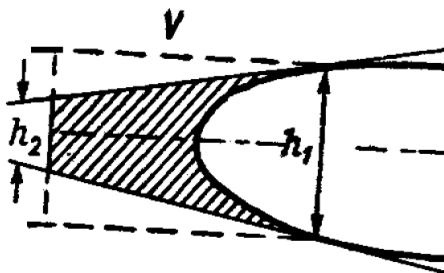


Hrbolkovitá námraza - vzniká ve smíšených oblacích. Námraza má malý vliv na odpor, ale její vliv na přetažení je výrazný.[6]

Obr. 2 Tvary námrazy [3]

1.4 VODNOST OBLAKU

Vodní obsah oblaku - δ . Představuje hmotnost zkondenzované vody v jednotkovém objemu vzduchu, obvykle se pohybuje 10^{-5} až $4 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$. [7]



Obr. 3 Stanovení koeficientu usazování [6]

h_1 ... příčka křídla

h_2 ... skutečný průřez dopadajících kapek

Množství dopadající vody při zanedbání zakřivení drah proudících částic. Všechny vodní kapky nacházející se v šířce h_1 dopadnou na profil.[7]

$$m_{v1} = \delta \cdot h_1 \cdot v \quad [\text{kg/m} \cdot \text{min}] \quad (1.1)$$

v ... rychlost proudícího vzduchu [m/min]

δ ... vodní obsah oblaků

Skutečné množství dopadající vody se musí určit se zakřivením drah proudících částic. Množství vody, které se uchytí na křídle, stanoví vyšrafovaná plocha v obr. 3. [7]

$$m_{v2} = \delta \cdot h_2 \cdot v \quad [\text{kg/m} \cdot \text{min}] \quad (1.2)$$

1.5 KOEFICIENT USAZOVÁNÍ

Jedná se o poměr počtu kapek narážejících na náběžné hrany křídla k počtu kapek, jejichž středy by prošly náběžnou hranou křídla, pokud by se kapky pohybovaly přímočaře. [7, 3. s] Zjednodušeně koeficient usazování vyjadřuje podíl skutečného množství kapiček, které narazí na plochu, k maximálnímu. [7]

$$E = \frac{m_{v2}}{m_{v1}} = \frac{h_2}{h_1} \quad [-] \quad (1.3)$$

1.6 INTENZITA NÁMRAZY

Tato je přímo úměrná rychlosti letu, vodnosti a koeficientu usazování. Nejpravděpodobnější a nejrychlejší tvoření námrazy je do 0,5M (což je oblast rychlostí, ve kterých se dopravní letadla velmi často pohybují). Nad touto hranicí v důsledku stlačitelnosti dochází k menšímu usazování kapek. Současně dochází k brzdění a stlačování proudu vzduchu před obtékaným profilem, k tzv. kinetickému ohřevu. Jestliže veškerá dopadající voda na křídle zmrzne, platí pro jednotku délky, plochy a času [7]




$$m_{v2} = \delta \cdot h_2 \cdot v = \rho_{led} \cdot h_1 \cdot I \quad (1.4)$$

I... intenzita námrazy

ρ_{led} ... hustota ledu [kg/m^3]

$$I = \frac{v \cdot \delta \cdot E}{\rho_{led}} \quad [\text{mm/min}] \quad (1.5)$$

Tab. 1 Hodnocení intenzity námrazy [6]

Název	Anglický název	Značka	Rychlost usazování
Slabá	Light		$< 0,5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Mírná	Moderate		0,6 až $1,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Silná	Severe		1,1 až $2,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Velmi silná			$> 2,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Výše uvedené výpočty jsou dle mého názoru velmi orientační. Ke stanovení množství námrazy a podmínek s ní spojených se používají jiné přesnější numerické metody. V tomto případě je velmi důležité správně a co nejpřesněji definovat okrajové podmínky. Používané numerické metody: Metoda D3, Metoda 8*D, Metoda RNLAf, Robitschova metoda a mnoho dalších, rozbor těchto metod je nad rámec této práce. [7]

Námraza a její intenzita závisí také na druzích oblačnosti. Rozeznáváme několik druhů oblačnosti Cb, Sc, St, Ns, Ac, As, Ci, Cc, Cs, kde v každém druhu je rozdílná intenzita námrazy. Dokonce záleží na tom, v jaké části mraků k pohybu dochází, zda v horní či dolní části. I tyto zdánlivé maličkosti mají na intenzitu námrazy značný vliv. Rozbor struktury mraků není zadáním této práce. [7]

Cb... Cumulonimbus(dešťokupa)

Sc... Stratocumulus (slohokupa)

St... Stratus (sloha)

Ns... Nimbostratus (dešťosloha)

Ac... Altocumulus (vyvýšená kupa)

As... Altostratus (vyvýšená sloha)

Ci... Cirrus (řasa)

Cc... Cirrocumulus (řasokupa)

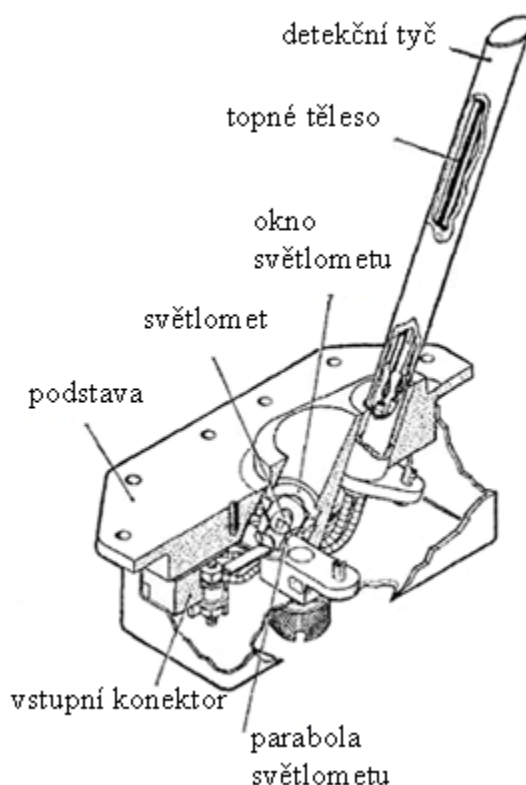
Cs... Cirrostratus (řasosloha)

2 DETEKCE NÁMRAZY

Pro předcházení vzniku námrazy je velmi důležitá její detekce. Z toho vyplývá, že zařízení, která tuto detekci umožňují, jsou nezbytná. Cesta, kterou bylo třeba ujit k hojnému využívání detektorů, byla velmi dlouhá a stála mnoho životů. Avšak prudký rozvoj letecké dopravy a zajištění její bezpečnosti přinesl rapidně změnu. Tato detekční zařízení jsou dnes umístěna v každém letounu. Jsou umístěna vně letadel a jsou v přímém kontaktu s námrazou. Cílem je varovat pilota před vznikajícím nebezpečím v dostatečném předstihu.

2.1 HOT-ROD DETEKTOR

Jedná se o vizuální detektor, založený na porovnávání. Pokud není detektor namrzlý, předpokládá se, že ani kritická místa nebudou pokryta ledem. Detektor je umístěn na boku trupu letadla. Je důležité, aby byl pilotovi umožněn z kabiny na detekující tyč dobrý výhled. Detektor je obsluhován posádkou letadla. V tyči je zabudované topné těleso pro odstranění námrazy z důvodu opakovatelnosti použití tyče. V noci nebo při snížené viditelnosti posádce pomáhá zabudované osvětlení. [8]



Obr. 4 Schéma Hot rod detektoru [8]

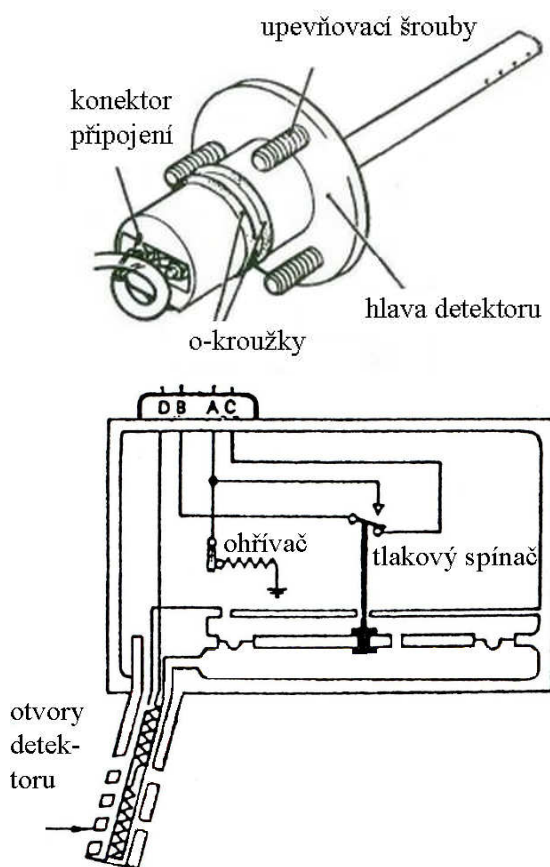
Detekční tyč je vyrobena z oceli. Je však známo, že tepelná vodivost oceli je nižší než u jiných materiálů, což může způsobovat nepřesnosti. Pro přesnější detekování by mohlo být použito stříbro, ovšem nevýhodou tohoto materiálu je vysoká cena. Ideálním materiálem s vyšší tepelnou vodivostí než železo je měď nebo hliník.



Obr. 5 Umístění detektoru Hot rod [8]

2.2 TLAKOVÝ DETEKTOR

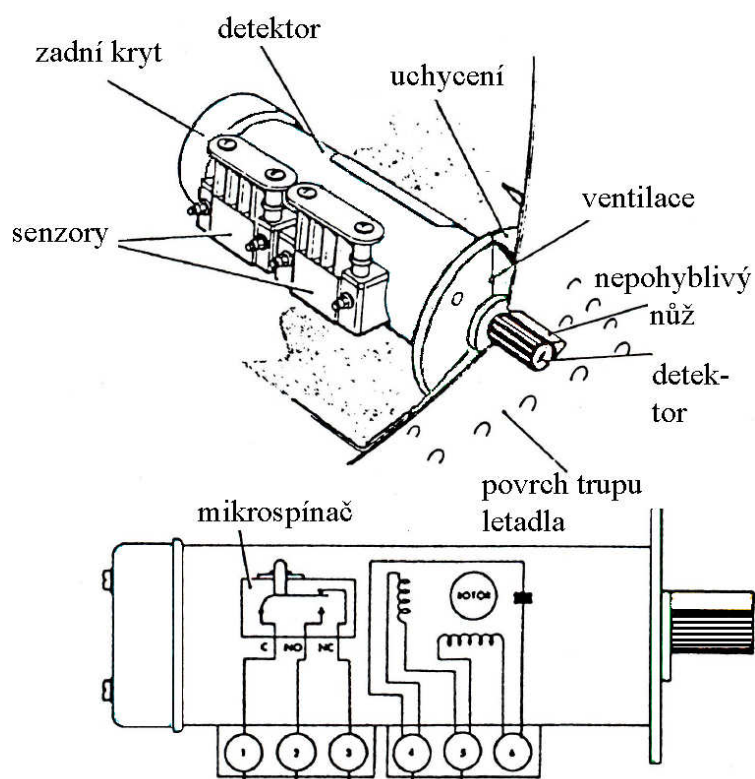
Detektor je umístěn ve svislé rovině směrem dolů a to v místě, kde se projevuje námraza nejčastěji. Přístroj je založen na porovnání rozdílu tlaků ve dvou částech trubice. V první části trubice (její náběhová strana) jsou 4 otvory, ve druhé (odtokové) části jsou 2 otvory. Přístroj je dále vybaven ohřívačem, který zamezuje zamrznutí zevnitř. Popisovaná část detektoru s děrami je tvořena na konci uzavřenou trubicí. Trubice začne na přední části namrzat, čímž dojde ke zvýšení tlaku vzduchu proudícího mezi otvory. Tuto změnu tlaku zaznamená snímač, jenž vyšle impuls k tlakovému spínači, který změnou polohy (sepnutím) rozsvítí varovné světlo. [8]



Obr. 6 Schéma tlakového detektoru [8]

2.3 ROTAČNÍ DETEKTOR

Hlavní části detektoru jsou zoubkovaný rotor, hřídel spojený s malým elektromotorem, převodovka a nepohyblivý nůž. Detektor je připevněný uvnitř letadla. Z trupu vně letadla vychází pouze rotor (nalisovaný na hřídeli), který se otáčí po celou dobu letu. Jeho pohon je zajištěn elektromotorem. Senzory jsou nastaveny na příslušný krouticí moment zvětšený o tření v ložiscích. Mezi otáčejícím se rotorem a pevným nožem je mezera 0,05mm. Otáčky motoru jsou 120 ot/min. V případě, že se námraza začne usazovat mezi rotorem a pevným nožem, dojde k vyplňování výše uvedeného malého prostoru, odpor proti otáčení se zvýší. Motor, který je mírně pohyblivě uložen se nepatrně vychýlí, tento pohyb zaznamenají senzory a mikrospínač sepne obvod určený k varování posádky před počínající námrazou. Tento detektor je použit na letounu Avro JR 100.[8]



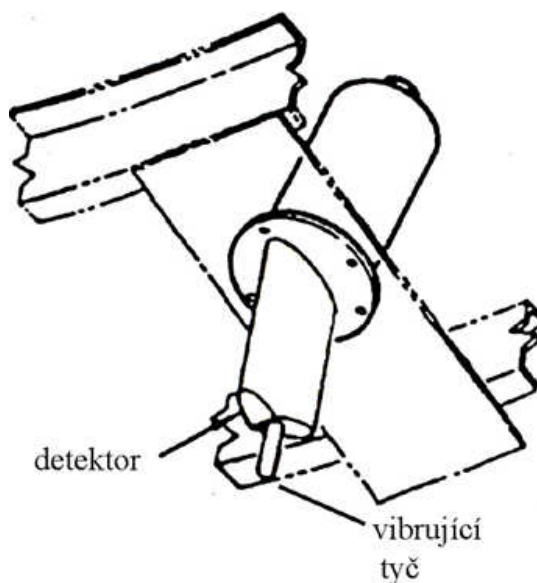
Obr. 7 Schéma rotačního detektoru [8]



Obr. 8 Umístění detektoru v trupu [9]

2.4 FREKVENČNÍ DETEKTOR

Podstatou tohoto zařízení je změna frekvence při namrzání. Detektor se skládá z měřicí tyče (sondy) a oscilátoru s detektorem. Vlastní rezonanční frekvence je nepřímo úměrná délce vibrující tyče. Tato frekvence je změněna topnými tělesy a koncem vibrující tyče (vyrobena z Ni slitiny). Ultrazvuková sonda má výslednou frekvenci 40 kHz, tyto vibrace jsou axiální. Jeden oscilátor je nastaven na horní hranici a druhý na dolní hranici frekvence. Pokud je sonda poškozena způsobí velké změny v rezonanční oblasti. Pokud selže elektronická součást v obvodu, začne působit poruchu daného kmitočtu. V obou případech se rozsvítí varovné světlo. Usazující se led mění frekvenci kmitání, na kterou je senzor nastaven. Pilot dostane signál o počínající námraze. Detektor je dále vyhříván a zbaven námrazy, cyklus se opět opakuje. Využíván na dopravních letadlech Airbus a Boeing. [8]



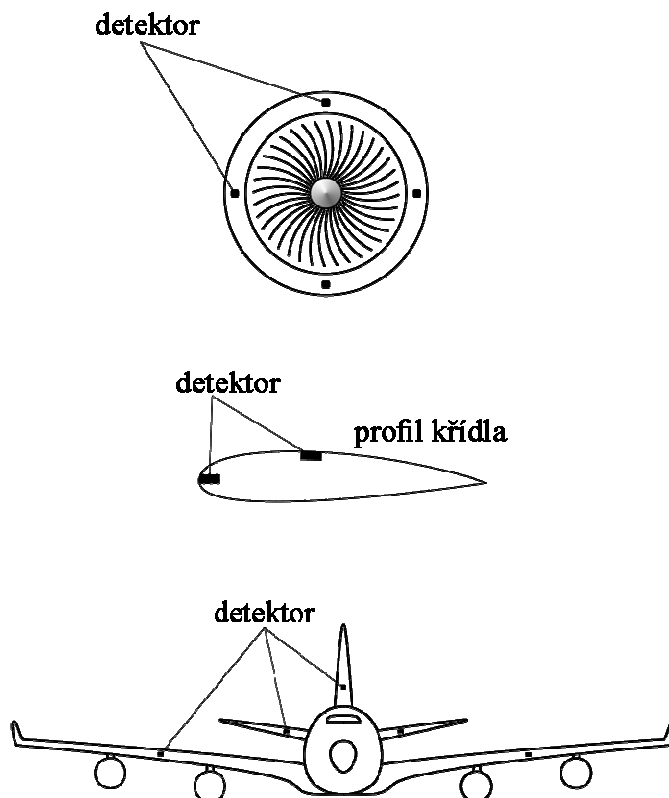
Obr. 9 Schéma frekvenčního detektoru [8]

Registrace varovných světelných signálů v pilotní kabině je pojištěna. Varovné signální světlo v žádném případě nezhasne samo, nýbrž musí být vypnuto pouze pilotem nebo jiným členem posádky. Z toho vyplývá, že posádka je dostatečně informována o namrzání letadla. Toto bezpečnostní kritérium platí pro všechny (mimo vizuální) výše popisované detektory.

Dále je používáno světlo, které je namířeno na nejproblematictější místa, co se námrazy týče. Tento způsob je také pouze vizuální. Tento typ detektoru je spíše informativní. Dokonce je doporučeno celé letadlo vizuálně zkontrolovat, zda se nikde nenachází námraza.

Jako nevyužitý princip detektoru považuji optickou senzoriku. Optika je hojně využívána a myslím, že i v tomto případě by se mohla vhodně využít. Detektor by se skládal z vysílače a přijímače. Podstata je v odrazu optického paprsku od předmětu nacházejícího se před senzorem. Celý detektor bude umístěn v trupu letadla (nejdůležitějších místech) a bude zakryt průhledným (skleněným, plastovým) víkem. Pokud víko nepokryje námraza, odrazí se zpět jen malá část emitovaného světla. Ale bude-li víko pokryto námrazou, odrazí se zpět mnohem více světelného záření a detektor vyhodnotí tuto situaci jako nebezpečnou. Následně se rozsvítí varovné světlo.

Nejlepší umístění detektoru: výhodou detektoru je jeho malá velikost, může být tedy umístěn v plochách křídel, ale také v náběžných hranách, v prstenci motoru (je velmi důležité, aby i tato plocha byla bez námrazy, aby nedošlo k následnému poškození kompresoru).



Obr. 10 Návrh pro umístění optického detektoru

Prochlazení částí křídel by se dalo minimalizovat použitím materiálů s malou tepelnou vodivostí, jako je bronz (docházelo by k pomalejší výměně (předávání) tepla s okolím.). Jeho nevýhodou (jako i dalších podobných materiálů) je však jeho velká hustota (hmotnost), ale i cena. Další možností snížení prochlazení kritických částí je použití horkého vzduchu.

Jedná se o vyplnění prostoru okolí nádrží horkým vzduchem, který je přiváděn od vyšších stupňů kompresoru. Tímto je zabráněno prochlazení paliva a následnému vzniku námrazy na površích křídel při nepříznivých klimatických podmínkách. Ovšem nevýhodou toho systému by byl velký odběr vzduchu od kompresoru a s tím spojený úbytek výkonu, dále by musela být pečlivě kontrolována teplota vzduchu, kvůli nebezpečí vznícení paliva.

Zde jsou uvedené mé vlastní nápady využití nových či zlepšení stávajících detektorů. Jejich přesná funkce nebo využití by muselo být podrobně zkoumáno v podmínkách tomu určených.

Dále je možné použití nátěru, který znesnadňuje průstup tepla. [10]

3 ODSTRAŇOVÁNÍ NÁMRAZY NA ZEMI

Snahou aerolinek je, aby letadla stála na zemi co nejméně, ale i při velmi krátké době pobytu na letišti jsou letadla vystavena různým přírodním vlivům a tudíž i reálné možnosti vzniku námrazy. Proto je nutné při špatných klimatických podmínkách před vzletem letadla odmrazit. Vzlet a přistání jsou jedny z nejnáročnějších úkonů pilotáže. Je při nich vyžadována přesná aerodynamika letadla, se kterou je počítáno již při konstrukci. I malá vrstva ledu na křídlech a náběžných hranách velmi ovlivní úhel náběhu, což je při vzletu důležité. Z toho vyplývá jedno velmi důležité pravidlo: pokud je letadlo pokryto námrazou, pilot nesmí vzlétnout.

3.1 PREVENCE VZNIKU NÁMRAZY

V případech, kdy letadla stojí na letištní ploše delší dobu (i přes noc), by bylo dobré, aby mohla být uschována v hangárech. V těchto prostorách jim nehrozí nebezpečí pokrytí povrchu žádnou námrazou a není tudíž zapotřebí ani letadla odmrazovat. Nicméně to není jednoduché. Za prvé, letištní prostory nedisponují tak velkým počtem hangárů, aby pokryly požadovanou potřebu, za druhé, je nutno brát v úvahu potřebný čas, který by zahrnoval přemístění letadel do hangárů a zpět na letištní plochu, a za třetí, náklady s tím spojené. Menší letadla mohou být zakryta plachtou. Díky tomuto opatření by odmrazování letadel nebylo třeba, je velmi nákladné, a stačilo by pouze opatřit letadla protinámrazovou kapalinou. Cena 1l kapaliny je cca 80,- Kč (ceny jsou různé i podle typů kapalin). Množství, které je potřeba na následné odmrazení letadla, závisí na množství ledu, sněhu - stovky litrů (200 až 700).

3.2 ODMRAZOVACÍ KAPALINY

Vlastní odmrazování probíhá na stojánce i s cestujícími na palubě, aby byla maximálně zkrácena doba do vzletu letadla. Dokonce, jak bude uvedeno v poslední kapitole, je zavedeno odmrazování kapalinami na čáře vyčkávání. Odmrazovací kapaliny mají pouze omezenou dobu účinnosti, po kterou udrží letadlo bez námrazy. Podcenění a nedodržení této zásady se stalo mnoha letům osudným.

3.2.1 KAPALINA TYP I

Složení - voda a glykol s minimálním obsahem glykolu 80% a dalšími přísadami, které též zabraňují korozi. Jedná se o odmrazovací kapalinu, která je málo viskózní. Odmrazování se provádí při vysokém tlaku a teplotě min. 60°C, dochází k odstraňování sněhu a námrazy. Užívá se již mnoho let. Nevýhodou tohoto prostředku je, že neposkytuje prakticky žádnou ochranu. Tento typ kapaliny je bezbarvý, ale v obarvené variantě usnadňuje orientaci v rozlišování již odmrazených ploch. Po aplikaci kapaliny typu I je vhodné použít typ II, aby nedocházelo k opětovnému usazování námrazy. Nevýhodou takového procesu jsou vyšší náklady. [11]



Obr. 11 Použití kapaliny typu I [11]

3.2.2 KAPALINA TYP II

Složení - nejméně 50% glykolu a korozivzdorných příměsí. Jedná se o protinámrazovou kapalinu, která obsahuje polymerní zahušťovadlo poskytující delší ochranu před znovu namrzáním. Vytváří ochranný film, který se uplatňuje při malých rychlostech. Jedná se o případy, kdy se letadlo rozjíždí po startovací dráze rychlostí okolo 200km/h, a v důsledku existence tohoto filmu dochází k tomu, že usazený sníh a led sklouzne v kritických místech z povrchu dolů. Tento druh kapaliny se používá pro větší letouny. [11]

Kapalina je obvykle světle žluté barvy. Může být použita sama nebo v kombinaci s typem I. Náklady na odmrazování rostou, ale odmrazení a následná ochrana před opětovným usazováním námrazy je účinnější. [11]

3.2.3 KAPALINA TYP III

Používá se pro odmrazovací a protinámrazová ošetření, je kompromis mezi kapalinou typ I a typ II. Obvykle se používá pro pomalejší letouny, ale může být využita pro dopravní letadla. Může být použita sama, ale také jako první v kombinaci s ostatními druhy kapalin. Kapalina tohoto typu má světle žlutou barvu. Náklady na odmrazování jsou nižší. [11]



Obr. 12 Použití kapaliny typu III [11]

3.2.4 KAPALINA TYP IV

Složení - nejméně 50% glykolu a korozivzdorných příměsí. Jedná se o protinámrazovou kapalinu, která má mnoho podobných vlastností jako kapalina typu II.

Taktéž obsahuje polymerní zahušťovadlo poskytující delší ochranu před znovu - namrzáním, ale doba ochrany je ještě delší jako u kapaliny typu II. Kapalina může být použita samostatně nebo jí předchází použití typu I. Má zelenou barvu. Náklady na odmrazování jsou vyšší. [11]



Obr. 13 Použití kapaliny typu IV [11]

Všechny druhy kapalin mohou být ředěny vodou, což snižuje výslednou cenu, je třeba mít na paměti, že tímto ředěním dochází k významné změně vlastností. To se projeví na době, kterou je schopna kapalina chránit povrch proti námraze. Při odmrazování je potřeba dbát na to, aby se kapalina nedostala do motorů nebo do APU. Tyto výpary by se mohly dostat do prostoru pro cestující nebo pro posádku.

3.2.5 EKOLOGIE KAPALIN

Hlavní obsaženou látkou všech výše uvedených kapalin je propylenglykol nebo ethylenglykol. Dále mohou obsahovat vodu a stopy různých vápenných, draselných nebo amonných solí. Ethylenglykol je toxická, jedovatá látka a jako taková se nesmí dostat do odpadních vod. Propylenglykol je bezpečnější a je používán ve větší míře.

Dříve se pro odmrazování používala močovina, ale v důsledku své nevýhody – zápachu, byla v dopravním letectví zakázána. Může být použita jen ve vojenském letectví. Odmrazování probíhá na vyčleněných, k tomu určených místech. Tato místa musí být vybavena odtokovými kanály. Kanály slouží k odvodu rozmraženého sněhu a ledu, aby nedošlo k jejich opětovnému namrzání na zemi pod letadlem. Těmito kanály současně se sněhovými zbytky odtéká do čističky odpadních vod i odmrazovací kapalina.

Tabulka 2 Využití jednotlivých typů kapalin [12]

Typ kapaliny	Průměrná spotřeba [mil.galon/rok]	Procentuální použití
Typ I	19,305	77,1
Typ II	2,856	11,4
Typ III	2,575	10,3
Typ IV	0,306	1,2

3.3 HORKÁ VODA

Aplikace horké vody pomáhá snižovat použití odmrazovacích kapalin. Horká voda je výrazně levnější a nepůsobí negativně na životní prostředí. Aplikuje se voda o teplotě $60\div 90^{\circ}\text{C}$ a tlaku $0,7\text{MPa}$. Nejdříve se aplikuje odmrazování pomocí horké vody (levnější, ekologičtější), je nutné co nejrychleji aplikovat protinámrazovou kapalinu, která chrání před opětovným namrzáním. Tento princip by neměl být uplatňován, pokud je teplota pod -7°C . [13]

Dále je důležité si uvědomit, že tento proces, odmrazování horkou vodou, se musí provádět na místech k tomu určených, stejně tak, jako při odmrazování pomocí odmrazovacích kapalin. Jen s tím rozdílem, že pravděpodobnost vzniku námrazy při aplikaci horké vody je mnohem vyšší. Voda navíc současně namrzá i na asfaltu pod letadlem, což je velice nebezpečné a je nutné dávat zvýšený pozor na tuto skutečnost a neustále udržovat povrch stojánky pod letadlem v ideálním stavu.

Tato metoda má jednu velkou výhodu oproti všem metodám využívajícím odmrazovací kapaliny a to je ekonomičnost a relativně pozitivní dopad při likvidaci zbytků na životní prostředí.

3.4 VYSOKOTLAKÝ VZDUCH

Podstatou této metody je použití vysokotlakého vzduchu, který „odfoukává“ sněh z ploch letadla. Struktura sněhu se předpokládá prášková, nespojitá. Odstraňování se provádí stejnými stroji jako při použití odmrazovacích kapalin. Pro zajištění předpokládané efektivity při odstraňování sněhu je důležité dodržovat tlak vzduchu, malou vzdálenost trysek od povrchu (ideálně 7 až 13 cm), na němž probíhá odstraňování, a dodržování potřebného průtoku vysokotlakého vzduchu (množství). [12]

Pro zajištění vyšší efektivity odstranění námrazy či ledu, je možné přidat do tlakového vzduchu odmrazovací kapalinu. Hlavní využití metody je v odstraňování sněhu z letadel, která stála delší dobu na letišti a jsou pokryta sněhovou nespojitou vrstvou. Provedení je rychlé, ekonomicky efektivnější a v oblasti dopadu na životní prostředí je „nejpřátelštější“ ze všech výše uvedených. Nicméně je zde jedno velké omezení v oblasti použití. Pokud je sněh vlhký nebo namrzlý, tuto metodu nelze použít, a musí se přistoupit k výše uvedeným metodám, jako jsou například odmrazovací kapaliny.

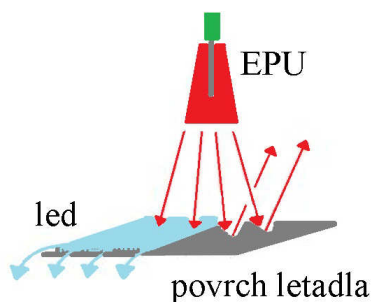
3.5 INFRAČERVENÉ ZÁŘENÍ

V důsledku stále většího důrazu kladeného na ochranu životního prostředí, jsou na letecké společnosti vytvářeny silné tlaky na minimalizování spotřeby glykolu, jakožto negativní látky. To vede odborníky k vyvíjení nových efektivních způsobů odmrazování. Jedním z nich se zdá být použití infračerveného záření. Tuto metodu odmrazování používá stále větší množství letišť. Příkladem může být letiště v New Yorku (J. F. K.). Zde zavedením této metody snížili použití glykolů o 90%. [14]

Infračervené zářiče využívají jako zdroj zemní plyn nebo propan-butan. Velkou výhodou této metody je fyzikální jev, kdy nedochází k ohřevu okolního vzduchu, ale pouze samotného pláště letadla. Následným přenosem tepla pak dochází k rozpouštění sněhu a námrazy na plášti letadla. Pro zajištění ideálního přenosu tepla na plášť letadla je důležité, aby rozmístění zářičů pokud možno v maximální míře kopírovalo tvar letadla. V současné době je celý proces již propracován tak, že jeho obsluha je zajišťována pouze jednou osobou. Ta za pomoci softwarové podpory celý proces pouze nastavuje a kontroluje. Pro provoz této metody je však třeba otevřený hangár. Například letiště v New Yorku (J. F. K.) disponuje pro tento účel hangárem o rozměrech 79 m x 79 m a výška je 26m. [14]

Je třeba zdůraznit, že i přes výhodu mnohem vyšší ekonomičnosti provozu a přístupu k ochraně životního prostředí, má tato metoda jednu nevýhodu. Zajistí se odmrazení, ale letadlo není dále chráněno proti námraze. Proto se následně aplikuje kapalina typ IV nebo jiná protinámrazová kapalina. Pro zvýšení účinnosti a rychlosti celé operace se při odmrazování někdy využívá kombinace s kapalinou typu I. Letadla velikosti B-727 jsou připravena cca za 6 minut, při odmrazování pouze kapalinou je tato doba cca 10 min (uvedené časy odmrazování jsou pouze informativní, velmi záleží na podmínkách a struktuře námrazy). Výhodou této metody je skutečnost, že pro rozmrazování je možno určit pevnou cenu, což u rozmrazování pomocí kapalin nelze předem říci. [12]

Tato metoda je relativně nová a není zatím plošně rozšířena. Je ale známo, že postupně si nachází místo také v severských zemích. Tento způsob odmrazování je již využíván i v Norsku. Myslím si, že tato metoda rozmrazování se bude rozvíjet dále, a její uplatnění se bude zvětšovat. Přál bych si, aby i letecké společnosti vyhodnotily tuto metodu jako lukrativní nejen z pohledu ekonomického, ale především z úhlu dopadu pohledu na ochranu životního prostředí ve spojení s dodržením zajištění maximální bezpečnosti pozemního provozu letadel. EPU-zdroj energie



Obr. 14 Podstata metody Infračerveného odmrazování [14]



Obr. 15 Infračervené odmrazování [15]

4 ODSTRAŇOVÁNÍ NÁMRAZY ZA LETU

Nebezpečí vzniku námrazy je velmi aktuální také při samotném letu letadla. Proto pro zajištění bezpečnosti vlastního letu letadel je nutné věnovat maximální pozornost nejen vzniku, ale především prevenci vzniku této skryté hrozby. A právě tato dvě hlediska jsou základním kritériem dělení zabezpečovacích soustav. Hovoříme o soustavách protinámrazových, kdy se snažíme o minimalizaci vzniku námrazy, a o soustavách odmrazovacích, kdy již řešíme problém, jak se vzniklé námrazy zbavit. Výsledkem je zajištění bezpečnosti letadla a především pasažérů. Tyto a další související požadavky shrnují předpisy CS-23 a CS-25.

4.1 POŽADAVKY KLADENÉ PŘEDPISY CS-23 A CS-25

Předpisy CS-23 a CS-25 jsou kompletní předpisy shrnující provoz a ochranu letadel. Zde bude rozebrána pouze otázka spojená s námrazou.

Předpisy CS-23, jsou předpisy pro letouny kategorie normální, cvičná, akrobatická a letadla určená pro sběrnou dopravu. Předpisy CS-25, jsou předpisy pro letouny kategorie velké letouny. Situace, které popisuje předpis CS-25 zahrnuje stejné situace jako předpis CS-23. Dále bude popsán jen předpis CS-23.

CS 23.1419 Ochrana proti námraze [16]

Má - li být schválen letoun se zařízením proti námraze, musí splňovat tyto požadavky:

- A - V letové příručce musí být uvedeny doporučené postupy pro použití zařízení na ochranu před námrazou.
- B - Je nutné vhodně stanovit systém na ochranu proti námraze pro různé části letounu. Mimo to musí být provedeny zkoušky systému, aby bylo prokázáno, že letoun je schopný bezpečného letu v podmínkách trvalé námrazy.
- C - Tam, kde to umožňuje podobnost konstrukce, může být vyhovění dosaženo odkazem na zkoušky u již dříve osvědčeného letadla.

CS 23.1326 Systém pro indikaci vyhřívání Pitotovi trubice [16]

Je-li v letadle nainstalována Pitotova trubice s vyhříváním, je nutné, aby byla opatřena indikačním systémem, který upozorní posádku, jestliže vyhřívání Pitotovy trubice není v provozu. Systém musí splňovat:

- A - Indikace musí zahrnovat žluté světlo, které bude dobře viditelné pro posádku.
- B - Indikace musí varovat posádku jestliže:
 - 1 - Systém vyhřívání je vypnut.
 - 2 - Systém je zapnut, ale je nefunkční.

CS 23.1416 Pneumatický odmrazovací systém [16]

Je-li požadováno odmrazování pomocí pneumatického odmrazovacího systému:

- A - Systém musí splňovat požadavky uvedené v CS 23.1419.
- B - Systém musí být navržen tak, aby byl účinný za jakýchkoliv normálních provozních podmínek.
- C - Posádce musí být zajištěny informace o tom, zda je systém pod dostatečným tlakem a pracuje-li správně.

D - Je-li požadováno, aby letová posádka sledovala vnější plochy letadla, musí být nainstalováno osvětlení pro sledování v noci.

CS 23.905 Vrtule [16]

E - U letounů s tlačnou vrtulí je nutné, aby všechny části letounu před vrtulí byly vhodně chráněny. Nebo musí být prokázáno, že padání námrazy do vrtule nevyvolává nebezpečné podmínky pro let.

CS 23.1305 Přístroje pohonné jednotky [16]

Pro letouny poháněné turbínovým motorem:

C - 7 Musí být zajištěna funkční indikace protinámrazového systému.

C - 10 Musí být zajištěna funkční indikace ohříváče sloužícího k zabránění ucpání palivového systému ledem.

CS 23.773 Výhled z pilotního prostoru [16]

B - Všechny pilotní prostory musí být vybaveny systémy k odstranění nebo předcházení vzniku situacím, kdy bude pilotovi znemožněn výhled. Tomuto musí být vyhověno, pokud nemůže být prokázáno, že si pilot může očistit okna bez přerušení jeho povinností.

CS 23.929 Ochrana zástavby motoru proti námraze [16]

Vrtule a ostatní části motoru musí mít taková opatření, aby nedocházelo k nefunkčnosti a ztrátám tahu v podmínkách námrazy.

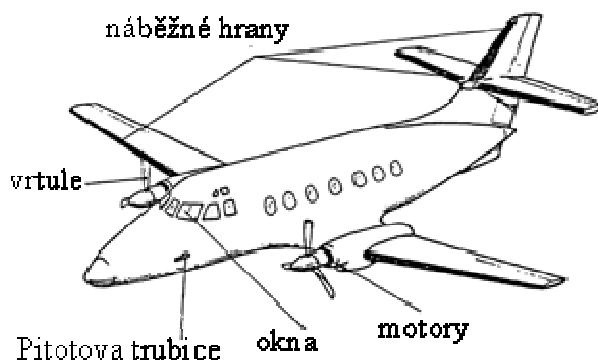
Dále je nutné, aby všechny případné odtoky kapalin z letadla byly vyhřívány.

4.2 PROTINÁMRAZOVÉ VYBAVENÍ

Tato kapitola zahrnuje taková vybavení, která předchází vzniku námrazy. Z toho vyplývá, že jsou jako prevence v provozu po celou nebo alespoň po většinu doby letu. Protinámrazová vybavení jsou založena na bázi chemické, elektrické nebo využívají energie a tepla vniklého vlastním provozem letadla. Pokud však již námraza vznikla, efektivita těchto prostředků je nízká a je zapotřebí přistoupit k použití odmrazovacích zařízení.

Námrazou nejohroženější a současně nejchráněnější místa letadla jsou náběžné hrany (křídla, podélné a svislé stabilizátory letadla), motory, vrtule a plochy křídel, ve kterých jsou ukryty nádrže. Spojujícím prvkem těchto míst je existence silného proudění vzduchu, které zvyšuje pravděpodobnost vytvoření námrazy.

Dalšími ohroženými místy, kde je námraza nežádoucí, jsou okna kabiny, Pitotova trubice, ostatní kontrolní a řídicí prvky letadla (rozvody všech kapalin).



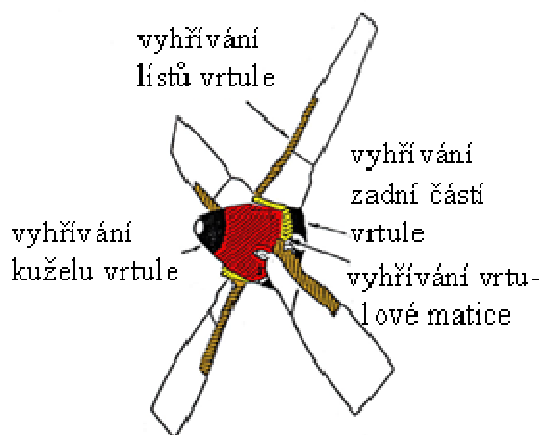
Obr. 16 Námrazou nejohroženější místa [9]

4.2.1 ELEKTRICKÁ OCHRANA

Účinnost elektrického vytápění je dobrá, ale v důsledku vysoké energetické náročnosti je jeho rozšíření malé. Proto se tohoto způsobu ochrany většinou používá jen pro odmrazování oken kabiny, kdy jsou mezi dvěma skly vedena tenká vlákna odporového drátu. Metoda je využívána u menších letadel. V tomto případě je nutný vlastní alternátor, celková hmotnost tohoto zařízení je pod 20kg. Dále se elektrická ochrana používá pro ohřev měřících zařízení (Pitotova trubice, detektory), kde by byla jiná ochrana podstatně složitější. I zde se využívá ohřevu odporovým drátem. Teplota je okolo 90°C a zpravidla se nedoporučuje teplotu překračovat, aby nedocházelo k teplotním šokům materiálu. [18]

Elektrické vyhřívání se taktéž uplatňuje pro ohřev prstenců proudových motorů a ve velké míře se využívá pro ochranu vrtulí. Vyhřívána je pouze krátká část od kužele vrtule. Ve větší vzdálenosti od kužele je již větší obvodová rychlost, což částečně zabraňuje tvorbě námrazy a také se zde uplatňuje stlačitelnost vzduchu a dochází ke kinetickému ohřevu. [9]

Používá se též ochranná kapalina, která je odstředivým zrychlením rozváděna přes celou délku vrtule. Elektrické vyhřívání je v tomto případě účinnější. Při ochraně vrtule jsou vyhřívány listy a současně i kužel vrtule. [9]



Obr. 17 Vyhřívaná místa na vrtuli [9]

4.2.2 TEPLOVZDUŠNÁ OCHRANA

Tento typ ochrany se používá pro odmrazování větších ploch, jako jsou náběžné hrany křídel či podélných nebo svislých stabilizátorů a také vstupní prstence proudových motorů. V případě proudového motoru je vzduch odebírán od vyšších stupňů kompresoru, v případě pístového motoru je teplý vzduch získáván ze spalin pomocí výměníku. Nevýhody tohoto systému se projevují především u proudových motorů. Potřebný vzduch se odebírá z kompresoru, čímž se snižuje jeho množství předávané do následné spalovací komory. Tím dochází ke snížení výkonu motoru. To je důvod, proč se tento způsob ochrany neprovádí při startu a přistání letadla. Teplý vzduch se tedy rozvodným systémem rozvádí do křídel, a jak jsem již uvedl, také do prstenců motorů. Zde se využívá velké výhody, že teplý vzduch je stlačený, tudíž rychle neztrácí teplotu v dlouhém rozvodném systému a je více efektivní. [9]

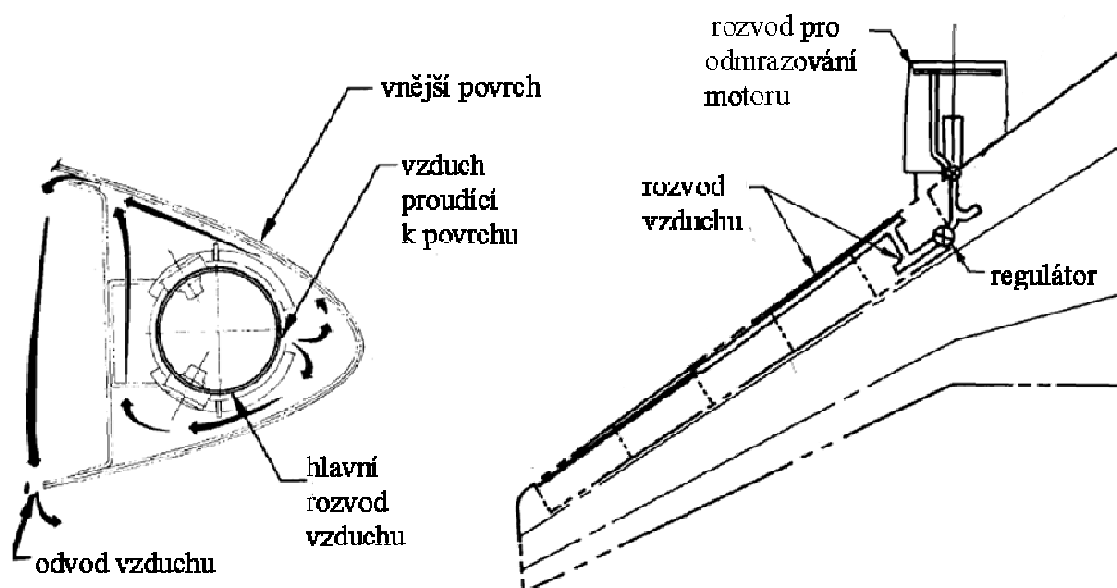
Teplovzdušná ochrana je často používaná metoda pro ochranu letounů. Uplatňuje se jak pro vyhřívání prstenců motorů, tak náběžných hran. Tento systém používají dopravní letouny typu B777, B747, A320 a mnoho dalších.

Taktéž je možné použít pro vyhřívání olej. Teplo lze odebírat z oleje pomocí výměníku, nebo je možno do míst v okolí motoru rozvádět samotný teplý olej. Ve druhém případě je značnou nevýhodou množství oleje, které by muselo být k dispozici. Další nevýhodou je, že při poškození systému by mohlo dojít i k poškození motoru. V případě použití výměníku by bylo zapotřebí zabudování kompletního systému, který zabírá mnoho místa a je dalším prvkem, který zvyšuje hmotnost letadla.

Výfukových spalin se pro vyhřívání nevyužívá, protože by bylo rovněž zapotřebí výměníku. Při rozvádění spalin bez použití výměníku by mohlo dojít k požáru na palubě nebo k úniku spalin do prostoru cestujících či posádky, což je nepříjemné. Další nevýhodou tohoto možného způsobu vytápění je to, že spaliny na odvodu z výfuku mají příliš vysokou teplotu. Proto by bylo nezbytné je nejdříve ochladit, aby nedocházelo k tepelnému ovlivnění materiálu.

Můj návrh:

Rozvod teplého média: trubka těsně přiléhající okolo obvodu spalovací komory, teplo vzniklé při spalování by ohřívalo médium (vzduch, kapalina) v trubce, která by byla dále vedena do křídel nebo do okolí nádrží. V systému by bylo zařazeno čerpadlo, aby docházelo k neustálému a nucenému oběhu média. Výhody: nedochází k odběru vzduchu z kompresoru, pokud by byl rozvod okolo nádrží, omezí se pravděpodobnost 'cold soakingu'. Nevýhody: zvětšení prostoru motoru, odběr elektrické energie při chodu čerpadla.



Obr. 18 Rozvod horkého vzduchu v křídlech - Boeing 767 [17]

4.2.3 TECHNOLOGIE SLIPS (SLIPPERY LIQUID-INFUSED POROUS SURFACE)

Další metodou v této oblasti je metoda SLIPS. Jedná se o novou metodu a nebylo o ní doposud mnoho publikováno. Při výzkumu se zde vědci inspirovali láčkou, což je speciální útvar sloužící k lapání kořisti u masožravých rostlin. Hmyz, který se dostane do láčky, nemá možnost se kvůli jejímu hladkému povrchu pevně uchytit.[20]

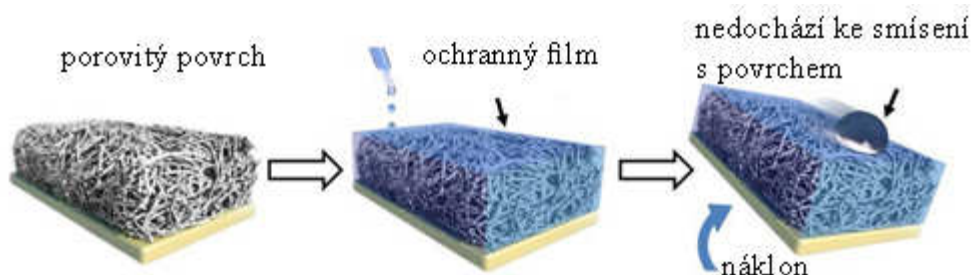
Je zkoumána kapalina, která zabraňuje jakémukoliv usazení nebo uchycení částic, dokonce i na porézním povrchu, ošetřeném touto kapalinou. [20]

Kapalina může být použita při extrémně vysokých tlacích a teplotách, přizpůsobí se poškození povrchu a stále zůstává funkční, odpuzuje všechny čisté látky i sloučeniny, je průhledná, odpuzuje i pevné látky jako je led a námraza. Kapalina je chemicky stálá a její finanční dostupnost je dobrá. [20]

Jedná se o vynikající repelentní kapalinu, která vychází z rozdílů napětí v povrchové vrstvě mezi přidanou kapalinou a odpuzujícím nátěrem. [20]

Použití: [20]

- ochranné nátěry proti námraze na letadlech
- proti zamlžení skel a zrcadel
- zdravotnické prostředky (proti usazování mikrobů)
- antiadhezivní povrch pro všeobecné odolnosti proti skvrnám
- povrchové úpravy oblečení, solárních panelů
- snížení tření
- přizpůsobení se tvaru povrchu



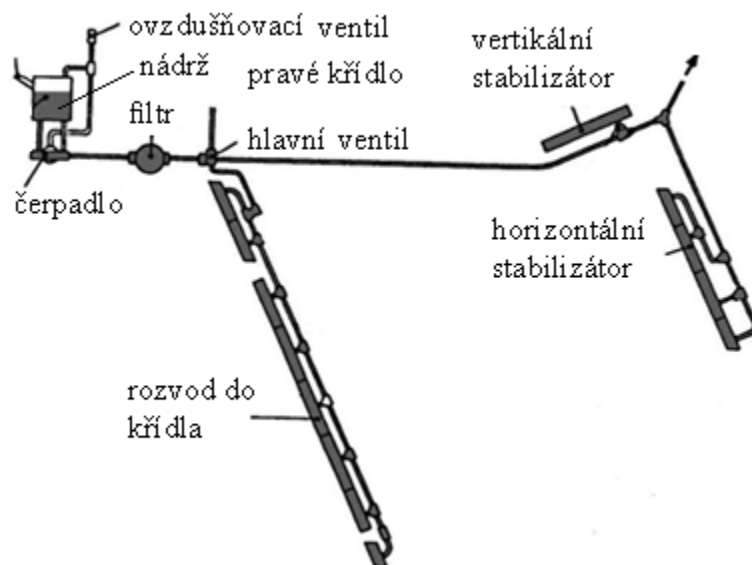
Obr. 19 Podstata technologie SLIPS [19]

4.3 ODMRAZOVACÍ VYBAVENÍ

Jedná se o soustavy, které zajišťují odstraňování ledu a zmrzlého sněhu z povrchu. Tato vybavení odstraňují již vzniklou námrazu. Systémy nejsou v provozu po celou dobu letu, ale jen v okamžicích potřeby. Mohou být používány s přestávkami, popřípadě se jejich použití cyklicky opakuje. Můžou být chemické, elektrické nebo mechanické. Používají se především k odstraňování ledu z náběžných hran letadla a na plochách křídel.

4.3.1 CHEMICKÁ OCHRANA

Podstatou metody je použití glykolu, který je nuceně tlačěn čerpadlem přes porézní panely na náběžných hranách křídel. Glykol, jakožto kapalina, se dále po náběžné hraně rozšiřuje působením obtékaného vzduchu a zabraňuje tak tvoření námrazy. Dobu použitelnosti této metody omezuje množství kapaliny, které je v letadle k dispozici. Ochrana míst, která nepodléhají výše popsané chemické ochraně, např. náběžné hrany vztakových klapek, se provádí nátěrem vazelínou. Tato metoda se používá spíše u menších letadel (Cessna). Důvodem je množství kapaliny, která je spotřebovávána v průběhu procesu. [9]



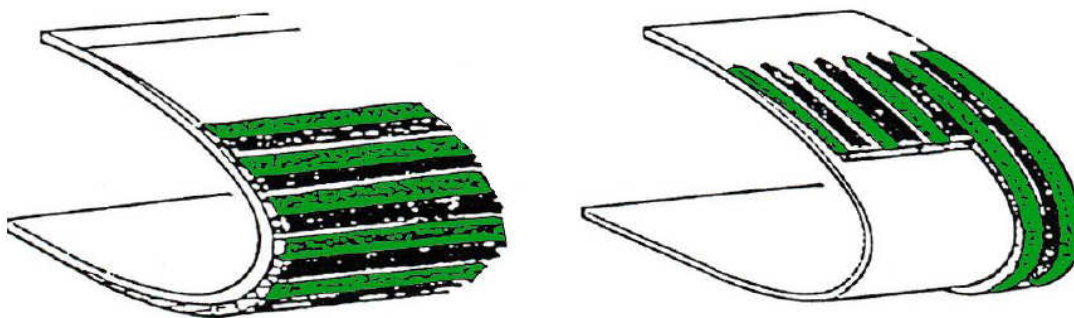
Obr. 20 Systém chemické ochrany [9]

4.3.2 PNEUMATICKÁ OCHRANA

U této metody dochází k přímému mechanickému porušení ledu nebo námrazy změnou tvaru. Střídá se nafukování a vyfukování tvarových částí (mění se tvar plochy), led popraská a je odveden proudícím vzduchem pryč. Náběžné hrany (křídla, svislé a podélné stabilizátory) jsou pokryty pryžovou vrstvou, která je dělena membránami na menší části. Části bývají děleny nezávisle na sobě, což umožňuje nafouknutí vždy sudých nebo lichých membrán. Cyklus se opakuje tak, aby se sudé a liché sekce v nafukování a vyfukování střídaly. [9]

Tento systém ochrany se používá spíše u menších a středních letadel. Systém pracuje v cyklech, které se opakují. Čas, po který jsou membrány nafouknuté, je mnohem kratší, než čas, po který jsou vyfouknuté. Pro využití metody je třeba vyčkat, až se námraza vytvoří. Mohou nastat podmínky, př. pokud se nacházíme v silně namrzajícím prostředí, kdy je toto omezení nevhodné. Funkce jako systém je velice účinná. Nemůže být v neustálém provozu, mohlo by dojít k nafouknutí a následně k zamrznutí, což by následně mohlo komplikovat další činnost systému. [9]

Pryžová vrstva s membránami nemá dlouhou životnost. Je velmi ovlivňována přírodními podmínkami, jako je slunce, déšť, samozřejmě led, velké rozdíly teplot a neustálé nafukování a vyfukování. Vše zmíněné přispívá k pomalu se tvořícím trhlinkám, které vedou k porušení celého systému. Rozeznáváme dva druhy konstrukcí a to horizontální a vertikální, při čemž se více používá horizontální. Pokud je systém během letu vypnut, je nutné udržovat v membránách podtlak, aby nedocházelo k nárůstu odporu a změně navržených profilů. S tímto systémem se můžeme setkat u letounů Cessna 210 nebo L-410.[9]

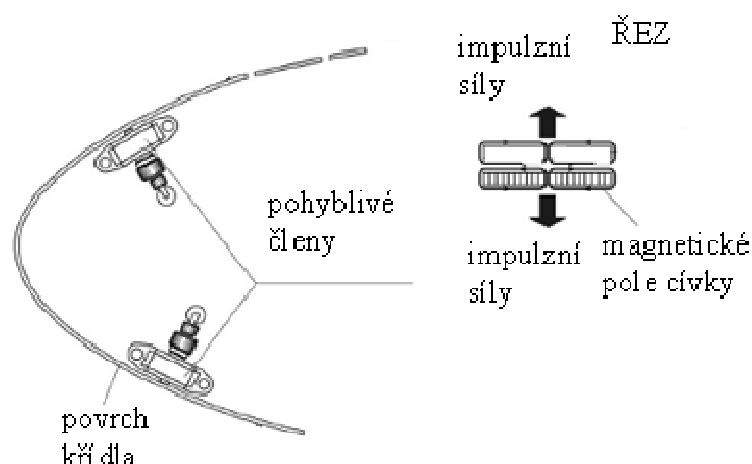


Obr. 21 Typy konstrukce pneumatických systémů [9]

4.3.3 ELEKTRO – IMPULZIVNÍ OCHRANA

Vysokonapěťové kondenzátory jsou rychle vybity přes cívky umístěné v náběžné hraně křídel, to způsobí náhlou elektromagnetickou odpudivou sílu na povrchu křídel, čímž je námraza rozmetána do okolního prostředí. Obvod s cívkou a kondenzátorem má tendenci kmitat, toto kmitání je velmi podobné mechanickému kmitání. Tento systém má řadu nevýhod – elektromagnetická interference (rušení), únava materiálu a velká hlučnost.

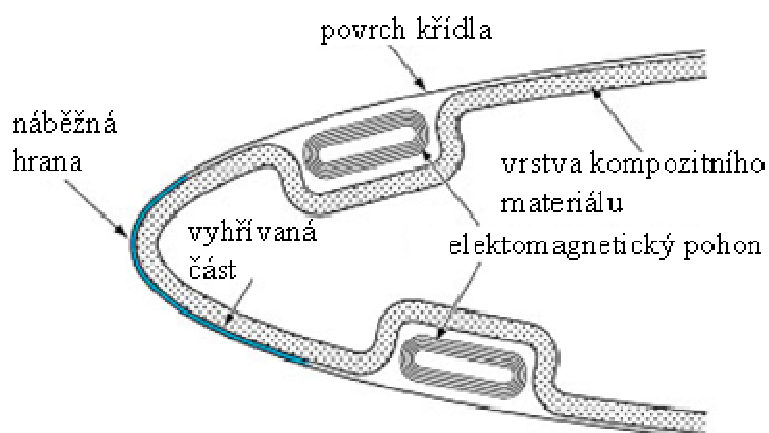
Tato metoda se používá hlavně na lodích, na letadlech není rozšířena. I když se nepoužívá, byla základem jiné zdokonalené metody. [21]



Obr. 22 Schematické zobrazení Elektro - impulzivní ochrany [21]

4.3.4 SONIC PULSE ELECTRO-EXPLOSIVE DEICER (SPEED)

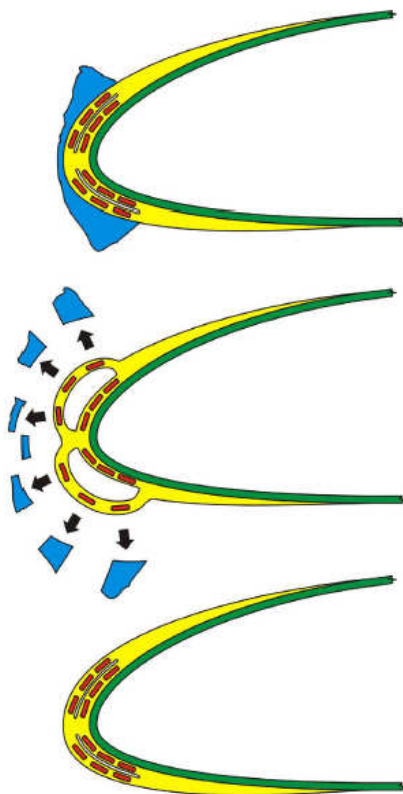
Je založen na zrychlení, které je uděleno cívkami nacházejícími se za náběžnou hranou křídla. Tento systém vychází z elektro – impulzivního s tím rozdílem, že bylo dosaženo zlepšení v pohonu cívky a elektroniky. To je díky vícenásobnému vinutí. Cívka vyšle rychlý impuls do pláště letadla, působící síly zničí námrazu (o tloušťce i 12mm). Technicky nejvyspělejší odmrazovací systém s nízkou spotřebou energie, který je nyní dostupný. Tento systém může být dovybaven senzory, které poskytují nezávislý režim provozu. Detekují vznik a množství námrazy, při dané hranici senzory informují odmrazovací systém k zahájení činnosti (někdy i k vícenásobným cyklům). Výhody systému - elektricky ovládané, nízká spotřeba elektrické energie, nezpůsobuje erozi, spolehlivý a bezúdržbový. Systém byl použit na letounu Hawker Beechcraft Premier I. [21]



Obr. 23 Schematické zobrazení metody SPEED [21]

4.3.5 ELECTRO-EXPULSIVE SEPARATION SYSTÉM (EESS)

Jeden z nejnovějších systémů. Pokud proud prochází dvěma vodiči, okolo vodičů jsou vytvářena magnetická pole. To způsobuje přitažlivé nebo odpuzivé síly, kterými na sebe vzájemně vodiče působí. Záleží na tom, zda jde proud oběma vodiči ve stejném směru - jsou přitahovány, jestliže jdou proudy v opačných směrech, jsou vodiče odpuzovány. Jeden drát je umístěn ve spodní vrstvě elastomeru a druhý v horní, mezi nimi je mezera (jsou odděleny), aby se horní vrstva mohla prohnout a odstranit led. Je vyslán velký proudový impuls, výsledné magnetické pole způsobí, že dojde k odpuzování obou vodičů, horní vodič skočí méně než 0,005mm. Toto vzniklé velké zrychlení rozbije led na povrchu chráněné plochy. Takto lze odstranit tenký i tlustý led. Výhodné je, že led je rozbit na malé kousky, které dále neovlivňují let letadla. Další výhodou je mnohem menší energetická náročnost, než je tomu u elektrického vyhřívání a také skutečnost, že nedochází k únavě ani ke strukturním změnám materiálu. Během letu může být zapnutý nepřetržitě. Systém je komerčně patentován a zkoušen na letadle Cessna Skymaster . [21]



Obr. 24 Podstata metody EESS [21]

Porovnání elektro – impulzivní – EESS – Pneumatický systém: výhodou EESS je pružnost elastomerů, nedochází k únavě konstrukce letadla (jako je tomu u impulzivní metody) a také se snadněji servisuje a vyměňuje. Nicméně elastomery podléhají erozi a následnému poškození stejně jako je tomu u pneumatických systémů. Na zlepšení struktury a odolnosti materiálů se stále pracuje.

5 PŘÍKLAD Z PRAXE

Na závěr se vraťme do doby, kdy byl položen základ odmrazovacím metodám nebo byly zdokonaleny již používané.

10. březen 1989, typ letounu: Fokker F-28

Nehoda při vzletu na letišti v Drydenu (Kanada).

- Letadlo nebylo odmrazeno, protože nefungovala pomocná jednotka APU. Vnitřní předpisy společnosti totiž zakazovaly odmrazování letadla kapalinami se spuštěnými motory. Kapalinu by mohly nasát motory, výpary by se dostaly do klimatizační jednotky a cestující by byli ohroženi toxickými výpary. Pilot se domníval, že námraza odpadne vibracemi při startu.
- Posádka nebyla dostatečně varována před padajícím mrznoucím deštěm.
- Tlak společnosti, aby nebyl let zrušen. [22]

Led ovlivňuje úhel náběhu, v tomto případě byl profil křídla zkonstruován tak, že i malá vrstva ledu výrazně ovlivnila úhel náběhu a došlo k přetažení letadla - ztrátě vztlaku. Zde došlo k tzv. cold soakingu, kdy okolní teplota nemusí být pod bodem mrazu, ale prochlazené palivo v křídlech ochlazuje povrch křídel.

Všechny tyto důvody vedly k havárii letadla. Letecká nehoda je v drtivé většině případů souhrou několika událostí, které spolu úzce souvisejí.

22. březen 1992, typ letounu: Fokker F-28

Nehoda při vzletu na letišti v New Yorku - La Guardia (Amerika).

Klimatické podmínky byly stejné jako v předchozím případě a to mrznoucí déšť.

V tomto případě bylo letadlo odmrazeno dokonce dvakrát, jenže start letadla byl stále odkládán. Vzhledem k tomu, že byla použita kapalina typ I, byla tato ochrana nedostatečná, protože typ I poskytuje pouze krátkodobou ochranu.

Jedno z pochybení bylo, že pilot se pouze vizuálně (rozsvítil pomocné světlo, které osvětlovalo křídlo) podíval na křídla, zda se na nich nenachází sníh. To, že na křídlech byla špatně viditelná námraza, již neviděl. [23]

Tyto příklady se mohou zdát jako historické, ale teprve tyto a také mnoho dalších nehod a leteckých neštěstí odkrylo množství problémů, které s sebou letecká doprava v oblasti námrazy přináší. Staly se zdrojem nových zkušeností a poznatků, nových řešení, jejichž výsledky se úspěšně aplikovaly a stále aplikují do letecké techniky a leteckých řádů. A právě na dodržování všech nových nařízení je kladen velký důraz. Odmrazování se přemístilo na čáru vyčkávání, čímž je zkrácena doba od odmrazení letadla do jeho startu a taktéž je minimalizována doba ke vzniku ledu na kritických místech. Používají se pokrokovější detektory, které jsou schopny detekovat námrazu rychleji a přesněji. A v neposlední řadě je důležité, že se zpřesňují údaje pro vydávání kvalitnější předpovědi počasí.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo seznámit se s nebezpečím, které s sebou přináší vzniklá námraza (led). Při jejím usazování na profilech křídel dochází ke změně daného předem navrženého profilu a právě v tomto je skryto velké nebezpečí. Z tohoto důvodu se změni aerodynamika daného profilu, se kterým bylo počítáno při konstrukci. Dochází k výraznému zhoršení aerodynamických vlastností.

Důsledkům námrazy dlouhou dobu nebyl přikládán dostatečný důraz. V dnešní době se vše již změnilo, dnes je naopak nutné se důsledně věnovat nahrazení stávajících metod metodami novými. A to z důvodu ekologie, finanční úspory či celkové efektivity odmrazování.

Myslím si, že další vývoj bude směřovat k intenzivnějšímu využití metody infračerveného odmrazování. Tato metoda je schopna rapidně snížit spotřebu kapalin a současně zajistit i dosažení ekologičtějšího provozu. Ekologie je v leteckém průmyslu velmi diskutované téma a otázka odmrazovacích kapalin je pouze jeho malou částí. S neustálým nárůstem objemu letecké dopravy je nutné řešit otázku hluku, spalin a dalších vlivů. Při odstraňování námrazy za letu vidím směr vývoje v použití elektrické (magnetické) energie, protože elektrická náročnost této metody je nízká. Odpadá nutnost samostatného generátoru elektrické energie (který je potenciální zdroj poruchy). Účinnost při využití magnetické energie je poměrně vysoká. Nevyřešenou však stále zůstává otázka použitých materiálů. Je nutno se hluboce zajímat a testovat materiály, které v co nejmenší míře podléhají erozi a pokusit se hledat i metody nestandardní. Velmi slibné výsledky má metoda SLIPS, nicméně se jedná o poměrně novou metodu a tudíž je potřebné její ověření v přímé praxi. V současné době nejsou zatím o této metodě známy přesné reference využívání.

Do budoucna je nutno se dále intenzivně věnovat zkvalitnění získávání podkladů pro určení předpovědi počasí a jejich dostupnosti pozemnímu personálu a posádkám.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] International air transport association. [Online],[Citace: 11. říjen.2013]
<http://www.iata.org/pressroom/pr/pages/2012-12-06-01.aspx>
- [2] Námraza [Online], [Citace: 11.říjen.2013]
<http://www.balon.cz/download/meteo/LM-06.ppt>
- [3] **Vašíček. J.** *Předpověď námrazy v letových hladinách FL050, FL100, FL140 a FL180.* Praha. Český hydrometeorologický ústav, 2008. [Online], [Citace: 11.říjen.2013]
http://old.chmi.cz/meteo/olm/produkty/popis/namraza_popis.htm
- [4] **Landsberg. B.** *Ice-Tis the season!* [Online], [Citace: 13. říjen.2013]
<http://blog.aopa.org/leadingedge/wp-content/uploads/2012/01/icy-plane.jpg>
- [5] Český hydrometeorologický ústav. [Online] , [Citace: 11. říjen.2013]
<http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/sivs/namrazy.html>
- [6] **Zárybnický. V.** *Aerodynamika*, 1999. 203s. [Online], [Citace:11. říjen.2013]
<http://www.csavirtual.cz/cs/media/download/category/5-tutorialy?download=80%3Aaerodynamika-a-mechanika-letu>
- [7] **Vašíček. J.** *Námraza.* Praha. Český hydrometeorologický ústav, 2007. 46s. [Online], [Citace:11. říjen.2013]
http://pocasi.chmi.cz/meteo/olm/Let_met/namraza.pdf
- [8] **Kumar. B.** *ATA-30 ICE and RAIN protection.* [Online], [Citace:13. říjen.2013]
<http://www.scribd.com/doc/36002206/6-Ice>
- [9] **Plumley. P.** *De-ice and anti-ice systems.* [Online], [Citace: 15. říjen.2013]
<http://ftpcabair.files.wordpress.com/2011/04/ice-protection-v73.pdf>
- [10] ThermoShield [Online], [Citace: 23. říjen.2013]
<http://www.thermoshield.sk/cz/view/termoizolacny-nater-thermoshield/>
- [11] Clariant [Online], [Citace: 23. říjen.2013]
<http://www.clariant.com/C12576720021BF8F/vwWebPagesByID/E1C87CC572A4453BC12576FE002E0DFF>
- [12] **Vasilyeva.A.** *Aircraft deicing operations.* 2009. 18s. [Online],[Citace: 23. říjen.2013]
http://ardent.mit.edu/airports/ASP_exercises/2009%20reports/Aircraft%20Deicing%20Vasilyeva.pdf
- [13] **Davson.P.** *Hot water deicing of aircraft.* 1999 [Online], [Citace: 23. říjen.2013]
<http://www.adga.ca/DATA/TEXTEDOC/126--TP-13483E-Hot-Water-Deicing-of-Aircraft.pdf>

- [14] **McCormick. C.** *Infrared Deicing: Giving glycol a run for its money* [Online], [Citace: 30. říjen. 2013]
<http://www.wingsmagazine.com/content/view/1325/38/>
- [15] **Feira. S.** *Future of Deicing Technology and Effective Training for Flight in Icing Conditions* [Online], [Citace: 30. říjen. 2013]
<http://aviationtroubleshooting.blogspot.cz/2011/01/future-of-deicing-technology-and.html>
- [16] Evropská agentura pro bezpečnost letectví. Certifikační specifikace pro letouny kategorie normální, cvičná, akrobatická a pro sběrnou dopravu CS-23, CS-25. 2009, 454 s. [Citace: 1. listopad 2013]
<http://www.caa.cz/predpisy/certifikacni-specifikace>
- [17] **Mehl. L., Parsons. K.** *Aircraft anti-icing systems*. [Online], [Citace: 6. listopad 2013]
http://www.dept.aoe.vt.edu/~mason/Mason_f/AntiIcingT4.ppt
- [18] **Žeravík. J.** , *Odmrazování letadel*. [Online], [Citace: 6. listopad 2013]
<http://www.aeroweb.cz/clanek.asp?ID=2215&kategorie=3>
- [19] Wiss Institute. SLIPS: Slippery Liquid-Infused Porous Surfaces. [Online], [Citace: 6. listopad 2013]
<http://wyss.harvard.edu/viewpage/316/>
- [20] **Aizenberg. J.** *New Slippery Liquid-Infused Porous Surface (SLIPS) technology offers pressure-stable, self-healing anti-adhesive and anti-fouling surfaces*. [Online], [Citace: 6. listopad 2013]
<http://www.techtransfer.harvard.edu/technologies/tech.php?case=3983>
- [21] **Goraj. Z.** , *An overview of the deicing and antiicing technologies with prospects for the future*. [Online], [Citace: 8. listopad 2013]
http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2004/PAPERS/547.PDF
- [22] Aviation Safety Network [Online], [Citace: 13. listopad 2013]
<http://aviationsafety.net/database/record.php?id=19890310-1>
- [23] Aviation Safety Network [Online], [Citace: 20. listopad 2013]
<http://aviationsafety.net/database/record.php?id=19920322-1>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

E	[-]	koeficient usazování
h_1	[m]	příčka křídla
h_2	[m]	skutečný průřez dopadajících kapek
I	[mm/min]	intenzita námrazy
m_{v1}	[kg/m ³ ·min]	množství dopadající vody, zanedbání zakřivení
m_{v2}	[kg/m ³ ·min]	skutečné množství dopadající vody
v	[m/s]	rychlost proudícího vzduchu
δ	[kg/m ³]	vodní obsah oblaků

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Námraza [4]	11
Obr. 2 Tvary námrazy [3]	12
Obr. 3 Stanovení koeficientu usazování [6]	12
Obr. 4 Schéma Hot rod detektoru [8]	15
Obr. 5 Umístění detektoru Hot rod [8]	16
Obr. 6 Schéma tlakového detektoru [8]	16
Obr. 7 Schéma rotačního detektoru [8]	17
Obr. 8 Umístění detektoru v trupu [9]	17
Obr. 9 Schéma frekvenčního detektoru [8]	18
Obr. 10 Návrh pro umístění optického detektoru	19
Obr. 11 Použití kapaliny typu I [11]	21
Obr. 12 Použití kapaliny typu III [11]	21
Obr. 13 Použití kapaliny typu IV [11]	22
Obr. 14 Podstata metody Infračerveného odmrazování [14]	24
Obr. 15 Infračervené odmrazování [15]	24
Obr. 16 Námrazou nejohroženější místa [9]	27
Obr. 17 Vyhřívání místa na vrtuli [9]	27
Obr. 18 Rozvod horkého vzduchu v křídlech - Boeing 767 [17]	29
Obr. 19 Podstata technologie SLIPS [19]	30
Obr. 20 Systém chemické ochrany [9]	30
Obr. 21 Typy konstrukce pneumatických systémů [9]	31
Obr. 22 Schematické zobrazení Elektro - impulzivní ochrany [21]	32
Obr. 23 Schematické zobrazení metody SPEED [21]	32
Obr. 24 Podstata metody EESS [21]	33